

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

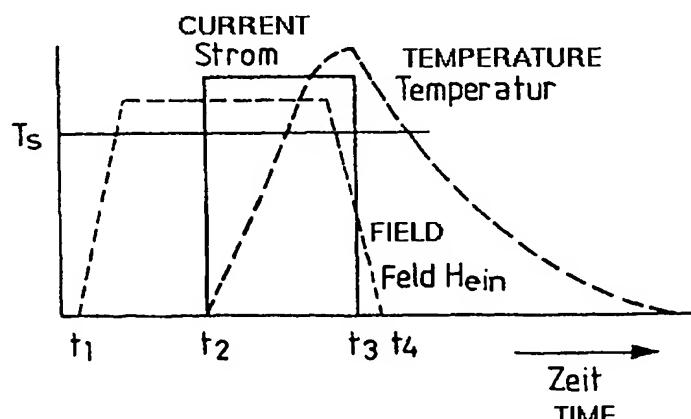
(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ :	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/02006
G01B 7/00		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 13. Januar 2000 (13.01.00)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/02017		(81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 1. Juli 1999 (01.07.99)		
(30) Prioritätsdaten: 198 30 344.0 7. Juli 1998 (07.07.98) DE		Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).		
(72) Erfinder; und		
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): VAN DEN BERG, Hugo [NL/DE]; Dr.-Dassler-Strasse 4, D-91074 Herzogenaurach (DE). MATTHEIS, Roland [DE/DE]; Talstrasse 36, D-07743 Jena (DE).		
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).		

(54) Title: METHOD FOR REGULATING THE MAGNETIZATION OF THE BIAS LAYER OF A MAGNETORESISTIVE SENSOR ELEMENT, SENSOR ELEMENT OR SENSOR ELEMENT SYSTEM PROCESSED ACCORDING TO SAID METHOD AND SENSOR ELEMENT AND SENSOR SUBSTRATE SUITABLE FOR THE IMPLEMENTATION OF SAID METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM EINSTELLEN DER MAGNETISIERUNG DER BIASSCHICHT EINES MAGNETO-RESISTIVEN SENSORELEMENTS, DEMGEMÄSS BEARBEITETES SENSORELEMENT ODER SENSORELEMENTSYSTEM SOWIE ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS GEEIGNETES SENSORELEMENT UND SENSORSUBSTRAT

(57) Abstract

The invention relates to a method for regulating the magnetization of at least one bias layer of a magnetoresistive sensor element, whereby the bias layer is part of an AAF (artificial antiferromagnetic) system consisting of at least one bias layer, at least one flux conducting layer and at least one connecting layer that is arranged between said layers and connects them antiferromagnetically. The inventive method comprises the following steps: a) the sensor element is heated to above a predetermined temperature (T_s) or cooled to below a predetermined temperature (T_s), b) a magnetic regulating field (H_{ein}) is applied during and/or after heating or cooling, c) the regulating field (H_{ein}) is no longer applied after a predetermined time period, and d) the temperature is brought back to the initial temperature.



(57) Zusammenfassung

Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung mindestens einer Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, wobei die Biasschicht Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, umfassend folgende Schritte: a) Erwärmen oder Abkühlen des Sensorelements über oder unter eine vorbestimmte Temperatur (T_s), b) Anlegen eines magnetischen Einstellfelds (H_{ein}) während und/oder nach dem Erwärmen oder Abkühlen, c) Abschalten des Einstellfelds (H_{ein}) nach einer vorbestimmten Zeit, d) Rückführen der Temperatur auf die Ausgangstemperatur.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Beschreibung

Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung der Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, demgemäß bearbeitetes Sensorelement oder Sensorelementsystem sowie zur Durchführung des Verfahrens geeignetes Sensorelement und Sensorsubstrat

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung der Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, wobei die Biasschicht Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferro magnetic-system) ist bestehend aus mindestens der Biasschicht, einer Flußführungsschicht und einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht.

Solche Sensorelemente kommen beispielsweise bei magneto-resistiven Winkeldetektoren zum Einsatz. Grundlage dieser Sensoren sind die beiden einander entgegengesetzten Magnetisierungen der Bias- und der Flußführungsschicht mit einer starken antiferromagnetischen Kopplung. Diese beiden Schichten verhalten sich als eine steife Einheit, die sich von äußeren Feldern kaum beeinflussen läßt. Die magnetische Meßschicht dagegen ist weichmagnetisch und deren Magnetisierung richtet sich parallel zum äußeren Feld aus. Über das äußere Magnetfeld wird der Winkel zwischen den Magnetisierungen in der Bias- und Meßschichtmagnetisierung und damit der Widerstand des Sensorelements festgelegt. Um den Einfluß der Temperatur auf solche Sensorsysteme, von denen für einen 180°-Winkeldetektor vier Sensorelemente und für einen 360°-Winkeldetektor acht Sensorelemente benötigt werden, möglichst kompensieren zu können, werden diese nach Art einer Wheatstone'sche Brücke verschaltet. Zur weitergehenden Kompensation von Temperatureinflüssen ist es bevorzugt, die Sensorelemente auf einem gemeinsamen Substrat anzurichten und in ihrem

Schichtaufbau und der Schichtstruktur identisch auszustalten. Erforderlich ist in jedem Fall, daß die Magnetisierung der Biasschichten von zwei Elementen innerhalb des vier Sensorelemente umfassenden Sensorsystems entgegengesetzt zu den 5 anderen beiden Elementen ist. Eine Halbbrücke erfordert nur zwei Elemente mit entgegengesetzten Biasmagnetisierungen. Dies gilt unabhängig davon, ob das Sensorsystem auf einem gemeinsamen Substrat ausgebildet ist oder ob es mittels einzelner separater Sensorelemente gebildet ist. Zu diesem Zweck 10 ist es bekannt, an den einzelnen Sensorelementen mittels stromdurchflossener Leiter das jeweils entsprechend gerichtete Magnetfeld anzulegen. Dies bedarf insbesondere bei auf einem gemeinsamen Substrat angeordneten Sensorelementen, die entsprechend miteinander verschaltet und angeordnet sind, einer 15 aufwendigen Leiterführung. Im übrigen sind die jeweiligen Einstellfelder für die Gesamtheit der Sensorelemente nicht uniform.

Der Erfindung liegt damit das Problem zugrunde, ein hierzu 20 alternatives Einstellverfahren anzugeben, das eine einfache Einstellung der Biasmagnetisierung eines einzelnen Sensorelements oder von Sensorelementen eines Sensorsystems ermöglicht.

25 Zur Lösung dieses Problems ist ein Verfahren der eingangs genannten Art durch folgende Schritte gekennzeichnet:

- a) Erwärmen oder Abkühlen des Sensorelements auf eine vorbestimmte Temperatur,
- 30 b) Anlegen des magnetischen Einstellfelds während und/oder nach dem Erwärmen oder Abkühlen,
- c) Abschalten des Einstellfelds nach einer vorbestimmten 35 Zeit,

d) Rückführen der Temperatur auf die Ausgangstemperatur.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt also die Einstellung
5 bei vorbestimmter erhöhter oder erniedrigter Temperatur.
Grundlage hierfür ist, daß die Biasschicht und die Flußfüh-
rungsschicht bzw. deren Magnetisierung ein unterschiedliches
Temperaturverhalten bedingt durch eine zwischen den Schichten
gegebene Asymmetrie aufweisen. Wird nun das Sensorelement auf
10 die vorbestimmte Temperatur gebracht, so ändert sich die Sätt-
igungsmagnetisierung, die Koerzivität oder die Anisotropie
der einen Schicht stärker als der anderen. Dies führt dazu,
daß nach Abschalten des Einstellfeldes infolge der nach wie-
vor gegebenen Temperaturerhöhung die Magnetisierung der
15 Schicht, bei der sich z.B. die Sättigungsmagnetisierung in-
folge der Temperaturveränderung deutlich geändert hat, in die
entgegengesetzte Richtung ausrichtet, wie nachfolgend noch
näher beschrieben wird. Es ist also möglich, durch entspre-
chende Temperaturführung die Einstellung zu erreichen.

20 Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigen sich
insbesondere dann, wenn mindestens zwei Sensorelemente, die
gleichzeitig eingestellt werden sollen, vorhanden sind, wobei
die Magnetisierung der Biasschicht der beiden Sensorelemente
25 oder bei mehr als zwei Sensorelementen die Magnetisierung ei-
nes Teils der Sensorelemente zu der der anderen entgegen-
gesetzt gerichtet sein soll. In diesem Fall kann erfindungsge-
mäß vorgesehen sein, daß lediglich ein Sensorelement oder der
entsprechende Teil der Sensorelemente erwärmt oder abgekühlt
30 wird. Wie beschrieben ändert sich beispielsweise die Sätti-
gungsmagnetisierung bzw. das Verhältnis der Sättigungsmagne-
tisierungen der einzelnen Schichten nur bei den erwärmten
Sensorelementen. Wird das Einstellfeld angelegt, so kehrt
sich nur bei den temperaturbeeinflußten Sensorelementen die
35 Magnetisierung entsprechend um, bei den Sensorelementen, die

nicht temperaturbeeinflußt sind und bei denen die Sättigungsmagnetisierung unverändert ist, kehrt sich die Biasmagnetisierung nicht um. Es ist also vorteilhaft möglich, mit einem einzigen uniformen Einstellfeld zur Einstellung aller Sensorelemente zu arbeiten. Die Sensorelemente können, wenn die mehreren Sensorelemente auf einem gemeinsamen Substrat in Form von Sensorbrücken zur Bildung von Winkelsensoren, insbesondere von 360°-Winkelsensoren angeordnet sind, erfindungsgemäß lokal erwärmt oder abgekühlt werden.

10

Wenngleich es möglich ist, die nicht temperaturbehandelten Sensorelemente auf Raumtemperatur zu halten, können erfindungsgemäß gleichermaßen vor der Erwärmung oder Abkühlung des oder der Sensorelemente alle Sensorelemente abgekühlt oder erwärmt werden und die dabei erreichte Temperatur für die anschließend nicht erwärmten oder abgekühlten Sensorelemente beibehalten werden. Die Wahl der Temperatur und Temperaturlösung ist letztlich abhängig von der Art der verwendeten Sensorelemente bzw. der jeweiligen Schichten.

15

Die Erwärmung erfolgt vorteilhafterweise mittels pulsartig über das oder die Sensorelemente geführter Ströme, wodurch sich mit besonderem Vorteil im Fall von auf einem gemeinsamen Substrat angeordneten Sensorelementen eine lokale Erwärmung erzielen läßt, worauf nachfolgend noch eingegangen wird. Der Abschaltzeitpunkt für das Einstellfeld sollte früher liegen als der Zeitpunkt, an dem die Temperatur bei Rückkehr zur Arbeitstemperatur einen kritischen Wert durchläuft, bei dem die infolge der Temperaturerhöhung erhaltene Asymmetrie gerade noch gegeben ist.

Wie beschrieben beruht die Umkehrung der Magnetisierung gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren darauf, daß bei der gewählten Einstell-Temperatur die Schichten der behandelten Sensorelemente ein unterschiedliches Temperaturverhalten zeigen.

Zweckmäßigerweise sollte die Temperatur, auf welche die Sensorelemente erwärmt oder abgekühlt werden, außerhalb und höher oder niedriger liegen als der Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind, um 5 bei Betrieb der Sensorelemente keine Umkehr des vorher erreichten Effektes zu erhalten.

Für den Fall, daß vorher die Sensorelemente abgekühlt werden, kann die anschließende Erwärmungstemperatur des oder der jeweiligen Sensorelemente innerhalb des Temperaturbereichs oder außerhalb und höher liegen als der Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind. 10

Neben dem erfindungsgemäßen Verfahren betrifft die Erfindung 15 ferner ein Sensorelement oder ein Sensorelementsystem umfassend mehrere Sensorelemente, wobei die Biasschicht des oder der Sensorelemente gemäß dem vorbeschriebenen Verfahren eingestellt ist. Bei einem demgemäß ausgebildeten Sensorelementsystem mit zwei, drei oder vier Sensorelementen oder einem 20 Vielfachen davon können die vier oder jeweils zwei, drei oder vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.

Neben den mit dem erfindungsgemäß eingestellten Verfahren 25 hergestellten Sensorelementen bzw. Sensorelementsystemen betrifft die Erfindung desweiteren ein Sensorelement selbst mit mindestens einer Biasschicht, die Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungs- schicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, 30 beide Schichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungs- schicht, wobei die Magnetisierung der Biasschicht mittels des vorbeschriebenen Verfahrens in entgegengesetzter Richtung zur Magnetisierung der Flußführungsschicht einstellbar ist. Dieses Sensorelement zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus, 35 daß das Temperaturverhalten der Magnetisierung der Bias-

schicht und der mindestens eine Flußführungsschicht in einem homogenen magnetischen Einstellfeld bedingt durch eine zwischen den Schichten gegebene Asymmetrie unterschiedlich ist. Wie beschrieben läßt sich die Magnetisierung (Koerzivität, 5 Anisotropie) infolge des asymmetriebedingten unterschiedlichen Temperaturverhaltens der relevanten Schichten entsprechend einstellen. Diese Asymmetrie kann gemäß einer ersten . Erfindungsalternative beispielsweise durch unterschiedlich große magnetische Momente der Biasschicht und der Flußfüh-10 rungsschicht bei der Einstelltemperatur erzeugt sein. Infolge der Temperaturbeeinflussung ändert sich das Verhältnis der magnetischen Momente der beiden Schichten, das heißt, bei beispielsweise Raumtemperatur ist das magnetische Moment der Biasschicht größer als das der Flußführungsschicht, während 15 bei der Einstelltemperatur das magnetische Moment der Biasschicht kleiner als das der Flußführungsschicht ist. Zusätzlich ist auch die jeweilige Curietemperatur der Schichten unterschiedlich. Infolge der Schichtkopplung wird in diesem Fall die unterschiedliche Ausrichtung ermöglicht.

20 Eine andere Alternative zur Erzeugung der Asymmetrie kann erfahrungsgemäß in unterschiedlichen Dicken der Bias- und der Flußführungsschicht liegen. Schließlich kann erfahrungsgemäß die Biasschicht und die Flußführungsschicht zur Erzeugung der 25 Asymmetrie auch unterschiedliche Anisotropien besitzen, wobei in diesem Fall der unterschiedliche Anisotropiebeitrag bei der erhöhten Einstelltemperatur ursächlich ist. Schließlich kann erfahrungsgemäß auch die Koerzivität, also die magnetische Reibung innerhalb der Schichten unterschiedlich sein.

30 Eine weitere erfahrungsgemäße Ausgestaltung kann vorsehen, daß die Asymmetrie mittels einer an die Biasschicht oder die Flußführungsschicht gekoppelten weiteren ferri-, ferro-, oder antiferromagnetischen Schicht erzeugt ist. In diesem Fall können die Bias- und die Flußführungsschicht gleich sein, da 35 infolge der Kopplung der jeweiligen Schicht mit der Bilanz-

schicht der jeweilige Asymmetriebeitrag beispielsweise in Form der magnetischen Momente der Bilanzschicht, oder einer etwaigen Anisotropie oder unterschiedlichen Koerzitivität derselben zur jeweils angekoppelten Schicht „addiert“ wird.

5 Selbstverständlich können auch in diesem Fall die Bias- und Flußführungsschicht unterschiedlich sein.

Erfindungsgemäß kann die Phasenübergangstemperatur der weiteren Schicht niedriger als die Curie-Temperatur der Bias-

10 schicht und der Flußführungsschicht sein, wobei die Bias- und die Flußführungsschicht aus dem gleichen Material bestehen können. Infolge der niedrigeren Curie-Temperatur fehlt der jeweils an die weitere Schicht gekoppelten Schicht bei einer gegebenen Einstelltemperatur oberhalb der Curie-Temperatur 15 der weiteren Schicht der Schichtbeitrag, so daß sich oberhalb dieser Temperatur die Asymmetrie einstellt.

Erfindungsgemäß können zwei weitere Schichten vorgesehen sein, die an die beiden im AAF-System außenliegenden Flußführungsschichten gekoppelt sind, es sind hier also zwei Flußführungsschichten vorhanden. Eine weitere Ausgestaltung kann derart sein, daß das AAF-System zwei die weitere Schicht zwischen sich aufnehmende Biasschichten aufweist.

25 Das erfundungsgemäße Sensorelement ist nicht auf eine Strukturierung mit lediglich einem AAF-System beschränkt. Vielmehr können erfundungsgemäß zwei AAF-Systeme vorgesehen sein, die eine entkoppelte Meßschicht zwischen sich aufnehmen. In diesem Fall sind zwei weitere Schichten vorgesehen, die an die 30 außenliegenden Flußführungsschichten der beiden AAF-Systeme gekoppelt sind. Die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung und/oder der Anisotropie und/oder der Hysteresis kann derart stark sein, daß sich mit einem festen Einstellfeld mindestens zwei unterschiedliche Biasmagnetisierungen einstellen lassen, 35 die parallel zum Einstellfeld liegen können, aber auch unter

einem Winkel dazu, nämlich dann, wenn nach Abschalten des Einstellfeldes die Magnetisierung um einen gewissen Winkelbereich zurückdreht.

5 Schließlich betrifft die Erfindung ein Sensorsubstrat mit mehreren Sensorelementen. Erfindungsgemäß sind die Sensorelemente wie vorbeschrieben ausgebildet, ferner sind Mittel zum lokalen Erwärmen eines oder mehrerer Sensorelemente vorgesehen. Die Mittel können erfindungsgemäß derart sein, daß eine
10 Erwärmung mittels eines über das oder die Sensorelemente fließenden Stroms ermöglicht ist. Sind jeweils vier Sensorelemente zur Bildung einer Sensorbrücke miteinander verschaltet, können die Mittel zum Erwärmen derart ausgebildet und angeordnet sein, daß jeweils zwei Sensorelemente erwärmbar
15 sind. Sind auf dem Sensorsubstrat mehrere Sensorbrücken angeordnet, können die Mittel erfindungsgemäß derart ausgebildet sein, daß sie beim Trennen der Sensorbrücken voneinander unterbrochen werden. Dabei sollten zweckmäßigerweise die Sensorelemente und/oder die Mittel so angeordnet sein, daß der Er-
20 wärmungsstrom über mehrere, aber nicht alle, Sensorelemente, gegebenenfalls Sensorbrücken geführt wird. Eine zweckmäßige konkrete Ausgestaltung der Mittel sieht vor, daß diese als jeweils zwei Sensorelemente einer Sensorbrücke kurzschießen-
25 de Kurzschlußleiter ausgebildet sind, wobei der Erwärmungsstrom über die beiden nicht kurzgeschlossenen zu erwär-
menden Sensorelemente führbar ist.

Alternativ hierzu kann vorgesehen sein, daß die Mittel als die zu erwärmenden Sensorelemente verbindende Leiter ausgebildet sind, wobei die nicht zu erwärmenden Sensorelemente im wesentlichen auf dem gleichen Potential wie die zu erwärmen-
30 den Sensorelemente liegen. Um in diesem Fall weitgehend zu vermeiden, daß infolge einer möglicherweise gegebenen nicht-uniformen Ausbildung der Sensorelemente einer Sensorbrücke
35 ein zu einer Erwärmung der eigentlich nicht zu erwärmenden

Sensorelemente führender Heizstrom über diese fließt, kann erfindungsgemäß wenigstens eine Spannungsausgleichsleitung zwischen zwei der Erwärmung zweier Sensorelemente einer Sensorbrücke dienenden Leitern vorgesehen sein. Die mittels der 5 Leiter verbundenen Sensorelemente sollten zweckmäßigerweise längs einer oder mehrerer im wesentlichen gerader Linien angeordnet sein. Eine zweckmäßige Erfindungsalternative sieht demgegenüber vor, daß die Sensorelemente einer Sensorbrücke mäanderförmig ausgebildet sind, wobei jeweils zwei Sensorelemente 10 ineinander eingreifend angeordnet sind. Dies führt zu einem besseren Temperaturverhalten und einem mechanischen Spannungsausgleich der Elemente der jeweiligen Brückenhälften, was eine geringere Brücken-Offset-Spannung zur Folge hat. Besitzt das Sensorsubstrat vier Sensorelemente oder ein 15 Vielfaches davon, sind also entsprechende Sensorbrücken vorhanden, können die vier oder jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele 20 sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipskizze einer vier Sensorelemente aufweisenden Sensorbrücke, von denen zwei erwärmbar 25 und zwei kurzgeschlossen sind,

Fig. 2 eine Prinzipskizze der Anordnung mehrerer Sensorbrücken auf einem gemeinsamen Substrat,

30 Fig. 3 eine Sensorbrücke aus Fig. 2 nach Trennung des Substrats,

Fig. 4 eine Sensorbrücke einer zweiten Ausführungsform, 35 wobei auch hier zwei Sensorelemente selektiv erwärmbar sind,

Fig. 5 mehrere Sensorbrücken gemäß Fig. 4 auf einem gemeinsamen Substrat,

5 Fig. 6 eine dritte Ausführungsform einer Sensorbrücke,

Fig. 7 ein Diagramm zur Darstellung der Strom-, Temperatur- und Einstellfeldführung nach dem erfindungs-
mäßen Verfahren,

10

Fig. 8 eine Prinzipskizze zur Darstellung eines Sensorele-
ments einer ersten Ausführungsform,

15 Fig. 9 ein Diagramm zur Darstellung der Temperaturabhän-
gigkeit der Magnetisierung der unterschiedlichen
Schichten des AAF-Systems,

Fig. 10 ein Sensorelement einer zweiten Ausführungsform,

20 Fig. 11 die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des
Sensorelements aus Fig. 10,

Fig. 12 eine dritte Ausführungsform eines Sensorelements,

25 Fig. 13 eine vierte Ausführungsform eines Sensorelements,

Fig. 14 die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des
Sensorelements aus Fig. 13,

30 Fig. 15 eine fünfte Ausführungsform eines Sensorelements,

Fig. 16 eine sechste Ausführungsform eines Sensorelements,

35 Fig. 17 die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des
Sensorelements aus Fig. 16,

Fig. 18 eine siebte Ausführungsform eines Sensorelements,
und

5 Fig. 19 die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des
Sensorelements aus Fig. 18.

Fig. 1 zeigt in Form einer Prinzipskizze eine Sensorbrücke 1
10 bestehend aus zwei Sensorelementen R_1 und zwei Sensorelementen R_2 , die nach Art einer Wheatstone'schen Brücke miteinander zur Temperaturkompensation verschaltet sind. Die Sensorbrücke ist, wie Fig. 2 zeigt, auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet, wobei Fig. 2 lediglich eine Prinzipskizze der
15 Brückenanordnung zeigt. Bei der Sensorbrücke 1 gemäß Fig. 1 können die Sensorelemente R_2 selektiv aufgeheizt werden. Wie Fig. 2 zeigt, sind die Sensorbrücken 1 der Reihe nach hintereinander angeordnet und über die jeweiligen Strompads $C1$ und $C2$ miteinander verbunden. Über die Sensorelemente 1 kann ein
20 Strom geführt werden, was dazu führt, daß die Sensorelemente R_2 infolge des Stromflusses erwärmt werden, die Sensorelemente R_1 sind über Kurzschlußleiter 2 kurzgeschlossen und führen keinen oder sehr wenig Heizstrom, so daß sie nicht erwärmt werden. Die Ausbildung der Kurzschlußleiter ist relativ einfach möglich und mittels schmaler Streifenbahnen realisierbar, zumal die Sensorelemente meist aus mäanderförmigen Leiterbahnen bestehen, um ein bequemes Impedanzniveau zu erreichen. Infolge der Anordnung der Kurzschlußleiter 2 und der
25 Anordnung der Sensorbrücken 1 auf dem Substrat werden die Kurzschlußleiter während der Trennung der einzelnen Sensorbrücken unterbrochen, vgl. hierzu Fig. 3. Alternativ hierzu können die Kurzschlußleiter auch anschließend weggeätzt werden.

12

Die Fig. 4 und 5 zeigen eine weitere Ausführungsform. Die brückeneigenen Sensorelemente und Kontaktspads ($C_{1,2}$ = Strompads, $U_{1,2}$ = Spannungspads) sind so angeordnet, daß die R_2 -Elemente außen liegen, und daß sowohl die R_2 - wie auch die 5 R_1 -Elemente auf dem Substrat längs gerader Linien angeordnet sind. Die R_2 -Elemente sind reihenweise über Leiter 3 elektrisch auf der Scheibe verbunden, jede Reihe wird während der Einstellung von einem Strom I_{heiz} durchflossen. Die R_1 -Elemente liegen im Prinzip auf dem gleichen Potential, wie 10 sich aus Fig. 4 ergibt, wonach das R_1 -Element am Spannungspad U_2 auf dem Potential V_h und das R_1 -Element am Spannungspad U_1 auf dem Potential V_n liegt. Sie führen folglich kaum Strom und werden nicht erwärmt.

15 Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung einer Sensorbrücke zeigt Fig. 6. Die R_1 - und R_2 -Elemente sind mäanderförmig strukturiert, innerhalb einer Brückenhälfte greift jeweils ein R_1 -Element und ein R_2 -Element ineinander. Diese „Verschachtelung“ führt zu einem besseren Temperaturausgleich 20 sowie einem besseren mechanischen Spannungsausgleich der Elemente, was in einem geringeren Brücken-Offset resultiert. Um den ohnehin geringen durch die R_1 -Elemente fließenden Heizstrom I_{heiz} noch weiter zu verringern, sind die Leiter 3, die die R_2 -Elemente elektrisch miteinander kontaktieren, mittels 25 Spannungsausgleichsleitungen 4 verbunden.

Fig. 7 zeigt in Form eines Diagramms das Prinzip der Strom-, Temperatur- und Einstellfeldführung. Zum Zeitpunkt t_1 wird das Einstellfeld, relativ schnell ansteigend, an das oder die 30 Sensorelemente gelegt. Nach Erreichen eines Maximus bleibt das Feld für eine bestimmte Zeit konstant. Im Zeitpunkt t_2 wird ein Strompuls über das oder die Sensorelemente geschickt, was gleichzeitig zu einem Ansteigen der Temperatur der stromdurchflossenen R_2 -Elemente führt. Übersteigt die 35 Elementtemperatur eine bestimmte Temperatur T_s , werden die

Sensorelemente R_2 in einen anderen magnetischen Zustand versetzt. Nach dem Ausschalten des Feldes wird die Magnetisierung in einem dieser Biasschichten zur Magnetisierung der Biasschichten der R_1 -Elemente entgegengesetzt ausgerichtet werden. Das Einstellfeld bleibt solange aufrechterhalten, bis die Temperatur deutlich oberhalb der Temperatur T_s ist. Im Zeitpunkt t_3 wird der Strom abgestellt, was zu einem Absinken der Temperatur führt. Vorher wird bereits das Einstellfeld erniedrigt, im Zeitpunkt t_4 liegt kein äußeres Feld mehr an.

Wichtig ist, daß vor dem Absinken der Temperatur während der Kühlphase unter einen Grenzwert, nämlich die Temperatur T_s die Einstellung abgeschlossen ist und das Einstellfeld H_{ein} unterhalb einer bestimmten Grenze liegt. Man braucht zu diesem Zweck sowohl einen pulsförmigen Heizstrom- wie Feldverlauf. Die verträgliche Dauer der Aufheizung hängt stark vom Schichtaufbau ab, den benutzten Materialien, Materialkombinationen und vor allem von der Temperatur. Die Ausschaltzeit des Einstellfeldes H_{ein} muß deutlich kleiner als die Aufheizperiode sein.

20

Fig. 8 zeigt eine Prinzipskizze eines Sensorelements. Dieses besteht im gezeigten Ausführungsbeispiel aus dem Substrat 5, der Buffer-Schicht 6, der Meßschicht 7, der Entkopplungsschicht 8, und dem AAF-System 9, bestehend aus der Bias-
schicht I, der Flußführungsschicht II und der antiferromagnetischen Kopplungsschicht III. Der Grundgedanke ist, wie beschrieben, die magnetischen Eigenschaften der R_2 -Elemente durch lokale Temperaturerhöhung derartig zu ändern, daß die Biasschicht-Magnetisierungen der R_1 - und R_2 -Elemente sich entgegengesetzt ausrichten lassen. Hierzu nützt man die Temperaturabhängigkeit der Sättigungsmagnetisierung und/oder der Koerzitivität und/oder der Anisotropie. Innerhalb des Operationstemperaturfensters, also des Temperaturbereichs innerhalb welchem das Sensorelement oder die Brücke betrieben wird, sollen die Elemente möglichst konstant sein. Das heißt,

die Einstelltemperatur T_1 bzw. T_2 entweder der R_1 - und/oder der R_2 -Elemente soll vorzugsweise entweder ober- oder unterhalb dieses Fensters liegen. Prinzipiell bestehen zwei Möglichkeiten: Entweder werden die R_2 -Elemente auf Temperaturen 5 oberhalb des Operationstemperaturfenster geheizt, oder das ganze Substrat wird stark abgekühlt und die R_2 -Elemente werden erhitzt, wobei in diesem Fall die Temperatur durchaus auch im Operationstemperaturfenster liegen darf, oder aber darüber.

10

Wie beschrieben, kann die Erzeugung der für das unterschiedliche Temperaturverhalten der Schichten I, II verantwortliche Asymmetrie mit Hilfe der magnetischen Momente dieser Schichten erzeugt werden. Ausgehend vom in Fig. 8 gezeigten Sensorlement sei angenommen, daß die Schicht II eine niedrigere Curie-Temperatur T_{C2} besitzt als die Schicht I. Es sei angenommen, daß die Magnetisierung der Schicht II parallel zum Einstellfeld H_{ein} liegt. Das heißt, $m_2 > m_1$. Eine Umkehrung der Einstellung über eine lokale Temperaturerhöhung kann erreicht 15 werden, wenn die Curie-Temperatur T_{C2} der Schicht II genügend tief ist. Fig. 9 veranschaulicht den Verlauf der Magnetisierung in Abhängigkeit der Temperatur. Die niedrige Curie-Temperatur T_{C2} der Schicht II führt dazu, daß sich die Sättigungsmagnetisierung der R_2 -Elemente deutlich um den Betrag 20 ΔM_2 erniedrigt, wenn die R_2 -Elemente auf die Einstelltemperatur T_2 erwärmt werden, die R_1 -Elemente weisen die niedrigere Temperatur T_1 (z. B. Raumtemperatur) auf. Eine Umkehrung erfolgt, wenn $m_2 < m_1$ ist. Es ist offensichtlich, daß die Magnetisierungen bzw. die Momentenverteilung zwischen den Schichten 25 I und II auch vertauscht sein kann. Als Materialien für die Schicht, deren Magnetisierung umzukehren ist, eignen sich Ni-reiche Legierungen. Auch NiFeCo-Legierungen mit zu legierten nichtmagnetischen Elementen wie z. B. V, Cr, Pt, Pd und seltenen Erden wie Sm, Tb, Nd etc. können verwendet werden.

35

Wie Fig. 9 ferner zu entnehmen ist, liegt die Einstelltemperatur der R_1 -Sensoren innerhalb des Operationstemperaturfensters. Die der R_2 -Sensoren liegt darüber, jedoch noch unterhalb der Curie-Temperatur der zu bearbeitenden Schicht.

5

Fig. 10 zeigt ein Sensorelement mit zwei AAF-Systemen, die zwischen sich eine entkoppelte Meßschicht aufnehmen. Wie der zugehörigen Fig. 11 zu entnehmen ist, sind die Curie-Temperaturen der beiden Schichten I, II gleich und liegen 10 hoch, so daß die physikalischen Schichtparameter möglichst stabil sind. Die Schichten II sind im gezeigten Beispiel mit zwei weiteren Schichten IV, sogenannten Bilanzschichten gekoppelt, das heißt, die beiden Magnetisierungen sind gekoppelt. Die Curie-Temperaturen der weiteren Schichten IV liegen 15 unterhalb des Operationstemperaturfensters, siehe Fig. 11.

Zur Einstellung der R_2 -Sensoren wird nun das gesamte Sensorsystem auf eine Temperatur T_1 unterhalb des Operationsfensters abgekühlt, wobei diese Temperatur noch unterhalb der Curie-Temperatur T_{C4} der weiteren Schicht liegt. Infolge der 20 Kopplung der Schichten II mit den weiteren Schichten IV richten sich die magnetischen Momente beider Schichten ferromagnetisch aus. Das effektive Moment der jeweiligen Schicht II steigt deswegen stärker an als das Moment der Schicht I. Da die R_2 -Sensoren lokal auf eine Temperatur von oberhalb T_{C4} 25 aufgeheizt werden ($T_2 > T_{C4}$) muß das Moment der Schicht I der R_2 -Sensoren größer sein als das Moment der Schicht II bei dieser Temperatur. Dies zeigt sich in Fig. 11 an der sich ergebenden Magnetisierungsdifferenz von ΔM_4 . Dies ist der von der Bilanzschicht verursachte Beitrag. Eine entgegengesetzte 30 Ausrichtung der Magnetisierung erfolgt auch hier, wenn das Verhältnis der Gesamtmomente der Schichten I und II mit IV der erwärmten R_2 -Sensoren umgekehrt ist.

Fig. 12 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Sensorelements mit einem symmetrischen AAF-System bestehend aus drei

Magnetschichten. An den Außenseiten des AAF-Systems sind zwei weitere Schichten IV (Bilanzschichten) vorgesehen. Neben der geringeren Temperaturbelastung dieses Systems besteht hier ferner die Möglichkeit ein Sensorelement mit vielen Perioden 5 zu realisieren.

Die Fig. 13 und 14 zeigen eine weitere Ausführungsform eines Sensorelements. Die dort gekoppelte weitere Bilanz-Schicht IV besitzt eine Curie-Temperatur T_{C4} oberhalb des Operationstem-10 peraturfensters. Die Schicht ist eine ferri- oder ferromagne- tische Schicht, die mit der Schicht II des AAF-Systems gekop- pelt ist. Die Schichten I und II können im Prinzip aus iden- tischem Material bestehen und eine hohe Curie-Temperatur be- sitzen. Im Falle einer ferrimagnetischen weiteren Schicht IV 15 besitzt, vgl. Fig. 14, die Schicht I der R_1 -Sensoren bei de- ren Einstelltemperatur T_1 das größere magnetische Moment und steht parallel zum Einstellfeld. Bei den R_2 -Sensoren ist dies gerade umgekehrt aufgrund des fehlenden Moments der Bilanz- schicht (ΔM_4). Infolgedessen steht bei diesen Elementen das 20 Moment der Schicht I parallel zum Einstellfeld.

Fig. 15 zeigt eine weitere Ausführungsform eines AAF-Systems bestehend aus zwei Biasschichten und zwei daran entkoppelt angeordneten Flußführungsschichten. Zwischen den Biasschich-25 ten II ist die weitere Schicht IV aufgenommen, das heißt, ei- ne einzige weitere Schicht dient hier zur Erzeugung der kopp- lungenbedingten Asymmetrie.

Als Materialien für die beschriebenen Schichtsysteme können 30 für die weitere Schicht NiFeCo-Legierungen mit Zusätzen von nicht magnetischen Elementen wie z.B. V, Cr, Pt, Pd sowie seltene Erd/Übergangsmetalllegierungen wie $(Fe_xCo_{1-x})_{1-y}X_y$ mit X = z.B. Sm, Tb, Nd, Gd, Dy etc. Für die Schichten des AAF-Systems können NiFeCo-Legierungen mit wenig Zulegierungs-

bestandteilen oder Multischichten aus diesen Elementen verwendet werden.

Alternativ zur oben beschriebenen Erzeugung der erforderlichen Asymmetrie kann diese auch über unterschiedliche Koerzitivitäten oder entsprechende Anisotropien der relevanten Magnetschichten des AAF-Systems erzeugt werden, wobei auch eine Kombination mit der Momentvariante möglich ist. Haben die Bias- und die Flußführungsschicht eines AAF-Systems die gleichen Momente, muß für eine Einstellung die magnetische Reibung (Koerzitivität) oder die Anisotropie der Schichten entsprechend gewählt werden. Es sei angenommen, daß die Gesamtreibung (oder Anisotropieenergie) der Schicht II größer als die der Schicht I ist. In diesem Fall gilt:

15

$\tau_2 d_2 > \tau_1 d_1$, mit τ = Drehreibungs volumendichte, d = Schichtdicke,

bzw. für die Anisotropie

20

$K_2 d_2 > K_1 d_1$, mit K = uniaxiale Anisotropiekonstante.

Hiervon ausgehend stellt sich die Biasschichtmagnetisierung parallel zum Einstellfeld ein wenn dieses Feld parallel zur leichten Richtung anliegt. Bei Abkühlung wird eine mit der Flußführungsschicht I gekoppelte weitere Schicht IV vom paramagnetischen in den permanentpolarisierten Zustand übergehen. Im Falle einer antiferromagnetischen weiteren Schicht IV wird dies bei der Néel-Temperatur passieren. Die effektive Drehreibung oder Anisotropieenergiedichte der Bilanzschicht-Flußführungsschicht-Kombination nimmt um den Betrag $\tau_4 d_4$ bzw. $K_4 d_4$ zu. In der gekühlten Schichtkombination richtet sich die Magnetisierung der Flußführungsschicht dann parallel zum Einstellfeld aus, wenn

$\tau_2 d_2 < \tau_1 d_1 + \tau_4 d_4$ bzw.

$K_2 d_2 < K_1 d_1 + K_4 d_4$ ist.

5

Hierfür müssen die R_2 -Elemente mittels des Erwärmungsstroms über z.B. die Néel-Temperatur erwärmt werden. Auch hier kann ein Material für die Bilanzschicht mit einer Übergangstemperatur oberhalb des Operationstemperaturfensters gewählt werden. 10 Die R_1 -Sensoren werden dann im Arbeitstemperaturfenster eingestellt, die R_2 -Sensoren oberhalb der Übergangstemperatur. Als Materialien für die weitere Schicht können antiferromagnetische Schichten wie:

15 NiO(500K), CoO(290K), FeMn(530K), FeO(200K), MnO(120K),
 $Cr_2O_3(310K)$, α - $Fe_2O_3(950K)$, wobei in den Klammern die jeweilige Néel-Temperatur angegeben ist.

20 Auch ferrimagnetische Materialien können als Bilanzschichten zur Kontrolle der Anisotropie wie der Koerzitivität benutzt werden. In vielen Seltene-Erd-reichen Materialien ist es leicht, eine uniaxiale Anisotropie über Feldinduktion oder über magnetoelastische Kopplung zu erzeugen.

25 Fig. 16 zeigt eine ferrimagnetische weitere Schicht IV mit einer Kompensationstemperatur T_{komp} und einer Curie-Temperatur T_{C4} vorzugsweise unterhalb dem Operationstemperaturfenster, vgl. Fig. 17. Die weitere Schicht IV ist mit der Schicht II gekoppelt. Die Einstelltemperatur T_1 der R_1 -Sensoren liegt 30 nahe der Kompensationstemperatur, so daß der magnetische Momentbeitrag der weiteren Bilanzschicht fast Null ist, während das Drehreibungsmoment zunimmt verglichen mit einem Schichtsystem ohne weiterer Schicht. Man kann auf diese Weise eine reine Steuerung über die Koerzitivität realisieren. Auch eine 35 Kombination von Momenten- und Koerzitivitätssteuerung ist oh-

ne weiteres möglich. Die Schichten I und II bestehen vorwiegend aus Co, Ni und Fe als Träger der magnetischen Momente. Ist das ferrimagnetische Bilanzschichtmedium eine Seltene-Erd/Übergangsmetalllegierung, dann überwiegt oberhalb der Kom-
5 pensationstemperatur das Moment des Übergangsmetalls, das in diesem Fall ferromagnetisch mit der Schicht II gekoppelt ist. Unterhalb der Kompen-sationstemperatur überwiegt das Moment des Seltenen-Erd-Elements, das für die schweren Seltenen-Erd-Elemente der Magnetisierung der Biasschicht II entgegen-
10 setzt gerichtet ist. Eine Abnahme der Gesamt-magnetisierung der Kombination Schicht II, -Bilanzschicht verstärkt die Ten-
denz der Schicht I sich parallel zum Einstellfeld auszurichten.

15 Die Fig. 18 und 19 zeigen schließlich eine letzte Ausführungsform mit ferrimagnetischen weiteren Schichten in den mittleren AAF-Schichten. Im Operationstemperaturfenster sollten sich die Momente der Flußführungsschichten und der Bias-
schichten mit angekoppelten Bilanzschichten vorzugsweise kom-
20 pensieren. Wird zur Einstellung der R_2 -Elemente deren Einstelltemperatur T_2 über die Curie-Temperatur (T_{C4}) der Bi-
lanschichten IV erhöht, so ist sowohl der Reibungs- (oder der Anisotropiebeitrag) wie der Magnetisierungsbeitrag der Bilanzschicht Null. Bei den auf der Temperatur T_1 gehaltenen
25 R_1 -Elementen zwingt der Reibungsbeitrag und/oder der Anisotropiebeitrag der Bilanzschicht die Magnetisierung der Schicht II parallel zum Einstellfeld. Auch hier richten sich dann die Magnetisierungen der Biasschichten der R_1 - und R_2 -Elemente entgegengesetzt zum Einstellfeld. Als Materialien
30 für die weitere Schicht IV bieten sich bei diesem System seltene Erd/Übergangsmetalllegierungen wie $(Fe_xCo_{1-x})_{1-y}X_y$ an mit, $X = z.B. Tb, Gd, Dy, Ho$. Ferner können oxidische Ferrimagneten wie Ferrite verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung mindestens einer Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, 5 wobei die Biasschicht Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- a) Erwärmen oder Abkühlen des Sensorelements über oder unter eine vorbestimmte Temperatur,
- 15 b) Anlegen des magnetischen Einstellfelds während und/oder nach dem Erwärmen oder Abkühlen,
- c) Abschalten des Einstellfelds nach einer vorbestimmten Zeit,
- 20 d) Rückführen der Temperatur auf die Ausgangstemperatur.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei mindestens zwei Sensorelemente vorhanden sind, wobei die Magnetisierung der Biasschicht der beiden Sensorelemente oder bei mehr als zwei Sensorelementen die Magnetisierung eines Teils der Sensorelemente zu der der anderen entgegengesetzt gerichtet sein soll, dadurch gekennzeichnet, daß lediglich ein Sensorelement oder der entsprechende Teil der Sensorelemente erwärmt oder abgekühlt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Erwärmung oder Abkühlung des oder der Sensorelemente alle Sensorelemente abgekühlt oder erwärmt werden und die dabei erreichte Temperatur

21

für die anschließend nicht erwärmten oder abgekühlten Sensorelemente beibehalten wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei die mehreren 5 Sensorelemente auf einem gemeinsamen Substrat in Form von Sensorbrücken zur Bildung von Winkelsensoren, insbesondere von 360°-Winkelsensoren angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß Erwärmung oder Abkühlung der entsprechenden Sensorelemente lokal erfolgt.

10

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Erwärmung mittels pulsartig über das oder die Sensorelemente geführter Ströme erfolgt.

15

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Abschaltzeit für das Einstellfeld zeitlich früher liegt als der Zeitpunkt, an dem die Temperatur bei Rückkehr zum Arbeitstemperaturfenster einen kritischen Wert durchläuft, bei dem die infolge der Temperaturerhöhung erhaltene Asymmetrie noch gegeben ist.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, 25 dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Sensorelemente auf eine Temperatur erwärmt oder abgekühlt werden, die außerhalb und höher oder niedriger liegt als der Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind.

30

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß bei vorheriger Abkühlung der Sensorelemente die anschließende Erwärmungstemperatur des oder der jeweiligen Sensorelemente innerhalb des 35 Temperaturbereichs oder außerhalb und höher liegt als der

22

Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind.

9. Sensorelement oder Sensorelementsystem umfassend mehrere 5 Sensorelemente, wobei die Biasschicht des oder der Sensorelemente gemäß dem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 8 eingesellt ist.
10. Sensorelementsystem nach Anspruch 9, mit vier Sensorelementen oder einem Vielfachen davon, dadurch gekennzeichnet, daß die vier oder jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.
11. Sensorelement mit mindestens einer Biasschicht, die Teil 15 eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, wobei die Magnetisierung der Biasschicht insbesondere mittels 20 des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 8 in entgegengesetzter Richtung zur Magnetisierung der Flußführungsschicht einstellbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Temperaturverhalten der Magnetisierung der Biasschicht (I) und der Flußführungsschicht (II) in einem homogenen magnetischen Einstellfeld (H_{ein}) bedingt durch eine 25 zwischen den Schichten (I, II) gegebene Asymmetrie unterschiedlich ist.
12. Sensorelement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (I) und die Flußführungsschicht (II) zur Erzeugung der Asymmetrie bei der Einstelltemperatur unterschiedlich große magnetische Momente besitzen.

23

13. Sensorelement nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (I) und die Flußführungsschicht (II), gegebenenfalls zusätzlich, zur Erzeugung der Asymmetrie unterschiedliche Dicken aufweisen.

5

14. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (I) und die Flußführungsschicht (II), gegebenenfalls zusätzlich, zur Erzeugung der Asymmetrie unterschiedliche Anisotropien besitzen.

15. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (I) und die Flußführungsschicht (II), gegebenenfalls zusätzlich, zur Erzeugung der Asymmetrie unterschiedliche Koezitivitäten besitzen.

16. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß, gegebenenfalls zusätzlich, die Asymmetrie mittels einer an die Biasschicht (I) oder die Flußführungsschicht (II) gekoppelten weiteren ferri-, ferro- oder antiferromagnetischen Schicht (IV) erzeugt ist.

25 17. Sensorelement nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Phasenübergangstemperatur der weiteren Schicht (IV) niedriger als die Curie-Temperaturen der Biasschicht (I) und der Flußführungsschicht (II) ist.

30

18. Sensorelement nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (I) und die Flußführungsschicht (II) aus dem gleichen Material bestehen.

24

19. Sensorelement nach einem der Ansprüche 16 bis 18, durch gekennzeichnet, daß zwei weitere Schichten (IV) vorgesehen sind, die an die beiden im AAF-System außenliegenden Flußführungsschichten (I) gekoppelt sind.

20. Sensorelement nach einem der Ansprüche 16 bis 18, durch gekennzeichnet, daß zwei weitere Schichten (IV) vorgesehen sind, die an die außen liegenden Flußführungsschichten (II) zweier eine entkoppelte Meßschicht (7) zwischen sich aufnehmende AAF-Systeme gekoppelt sind.

21. Sensorelement nach einem der Ansprüche 16 bis 18, durch gekennzeichnet, daß das AAF-System zwei die weitere Schicht (IV) zwischen sich aufnehmende Biasschichten (I) aufweist.

22. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 20, durch gekennzeichnet, daß die Magnetisierung und/oder die Anisotropie und/oder die Hysteresis derart stark temperaturabhängig ist, daß sich von einem Einstellfeld mit fester Orientierung mindestens zwei unterschiedliche Biasmagnetisierungen einstellen lassen.

23. Sensorsubstrat mit mehreren Sensorelementen, durch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente nach einem der Ansprüche 10 bis 20 ausgebildet sind, und daß Mittel zum lokalen Erwärmen eines oder mehrere Sensorelement vorgesehen sind.

24. Sensorsubstrat nach Anspruch 23, durch gekennzeichnet, daß die Mittel eine Erwärmung mittels eines über das oder die Sensorelemente fließenden Stroms ermöglichen.

25. Sensorsubstrat nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils vier Sensorelemente zur Bildung einer Sensorbrücke miteinander verschaltet sind, 5 und daß die Mittel zum Erwärmen derart ausgebildet und angeordnet sind, daß jeweils zwei Sensorelemente erwärmbar sind.

26. Sensorsubstrat nach Anspruch 25, wobei auf dem Sensorsubstrat mehrere Sensorbrücken angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel derart angeordnet sind, daß sie beim Trennen der Sensorbrücken voneinander unterbrochen werden. 10

27. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente und/oder die Mittel derart angeordnet sind, daß der Erwärmungsstrom über mehrere Sensorelemente, gegebenenfalls Sensorbrücken führbar ist. 15

20 28. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils zwei Sensorelemente einer Sensorbrücke kurzschließende Kurzschlußleiter (2) aufweisen, wobei der Erwärmungsstrom über die beiden nicht kurzgeschlossenen, zu erwärmenden Sensorelemente führbar ist. 25

29. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel als die zu erwärmenden Sensorelemente verbindende Leiter (3) 30 ausgebildet sind, wobei die Anschlußpunkte jedes nicht zu erwärmenden Sensorelementes im wesentlichen auf dem gleichen Potential liegen.

30. Sensorsubstrat nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine Spannungsaus- 35

26

gleichsleitung (4) zwischen zwei der Erwärmung zweier Sensorelemente einer Sensorbrücke dienenden Leitern (3) vorgesehen ist.

- 5 31. Sensorsubstrat nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß die mittels der Leiter (3) verbundenen Sensorelemente längs einer oder mehrere im wesentlichen gerader Linien angeordnet sind.
- 10 32. Sensorsubstrat nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente einer Sensorbrücke mäanderförmig ausgebildet sind, wobei jeweils zwei Sensorelemente ineinander eingreifend angeordnet sind.
- 15 33. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 32, mit vier Sensorelementen oder einem Vielfachen davon, dadurch gekennzeichnet, daß die vier oder jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.

1 / 7

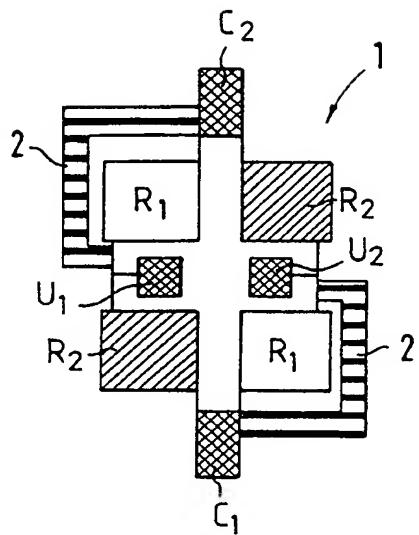


FIG. 1

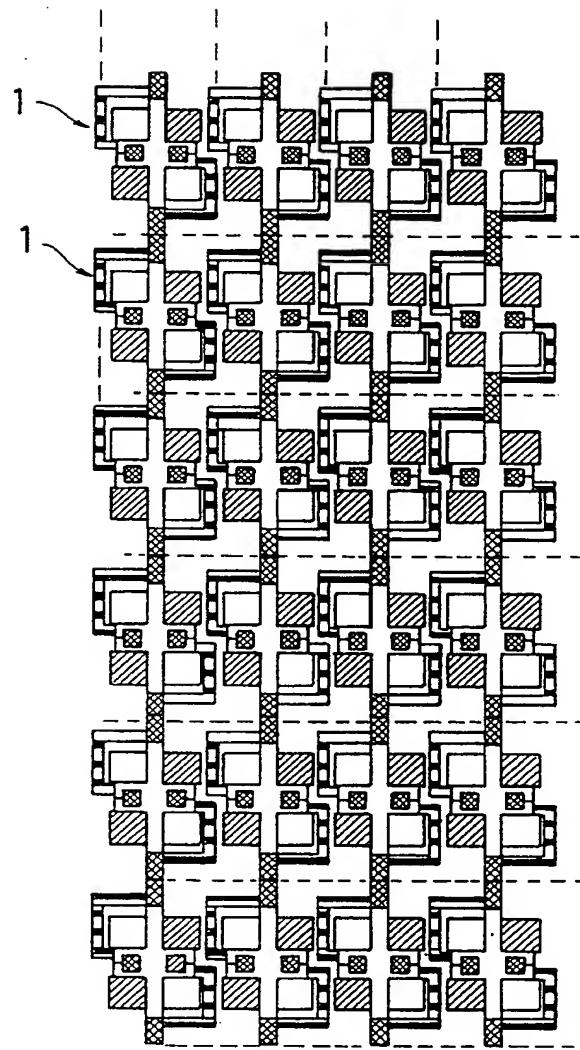


FIG. 2

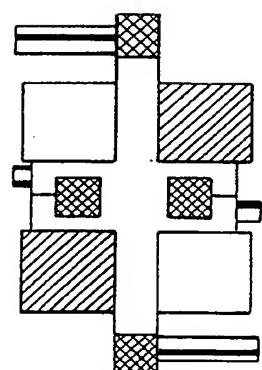


FIG. 3

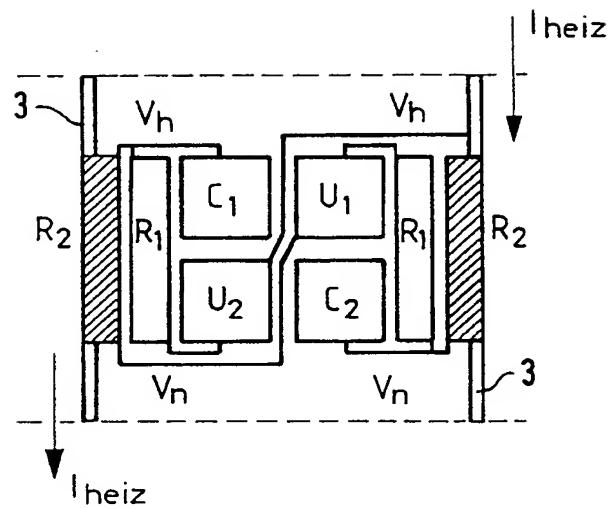


FIG. 4

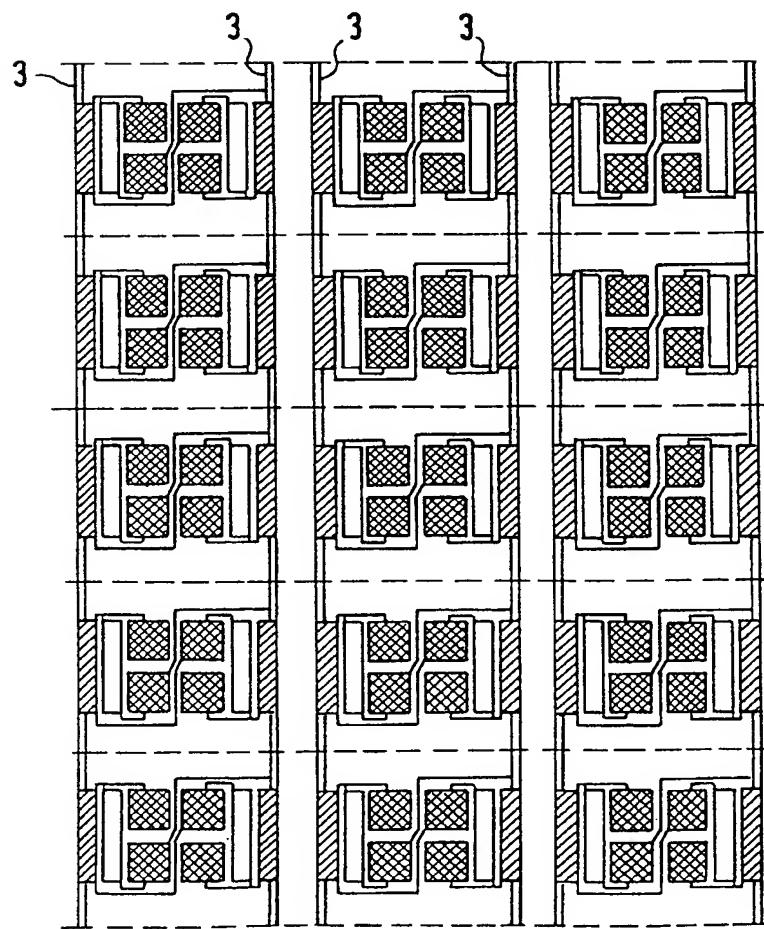


FIG. 5

3 / 7

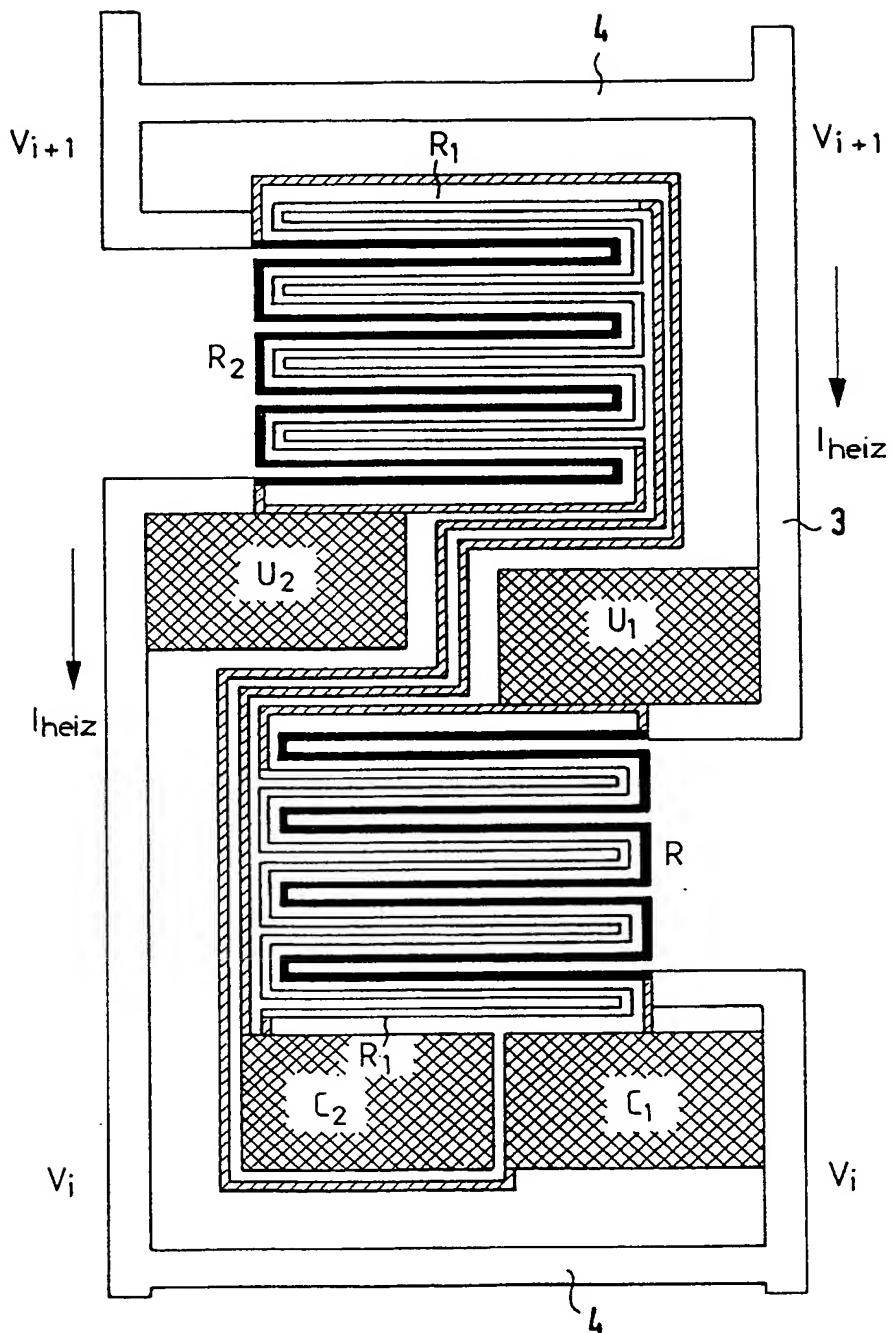


FIG. 6

4 / 7

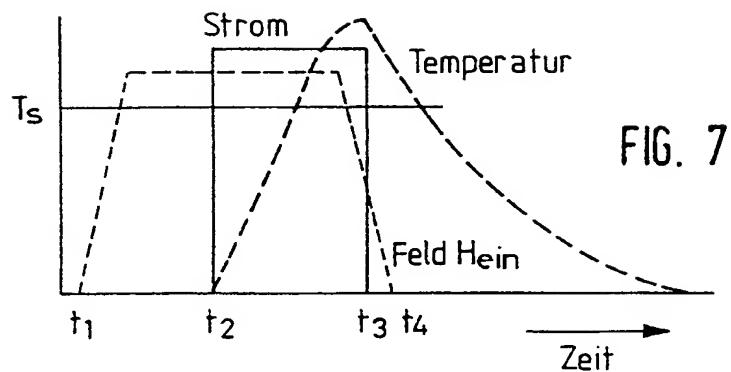


FIG. 7

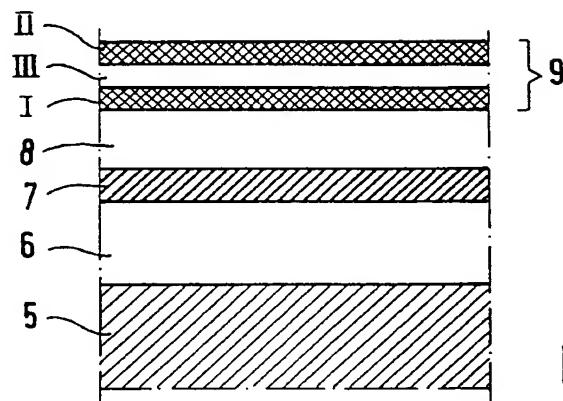


FIG. 8

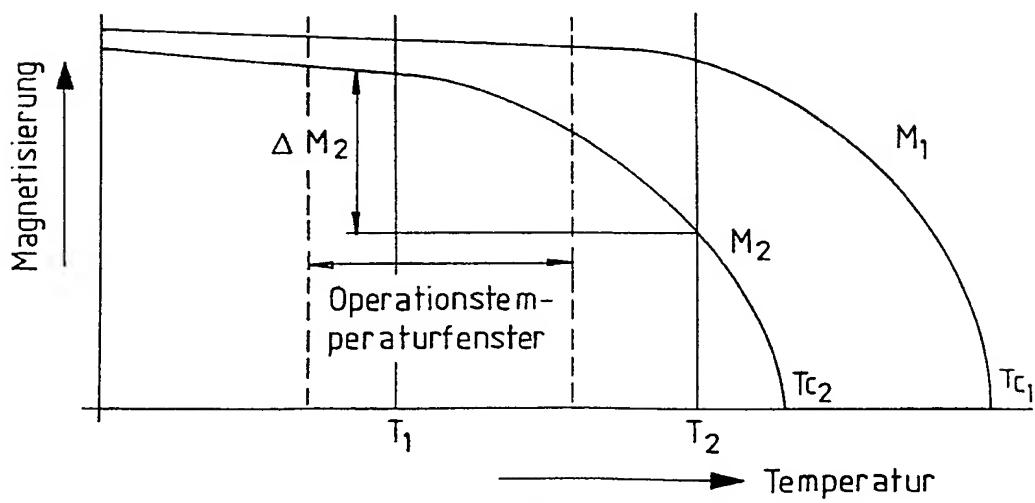


FIG. 9

5 / 7

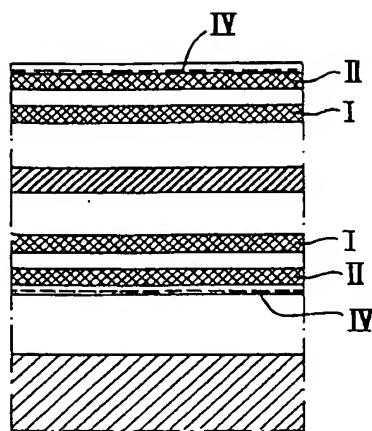


FIG. 10

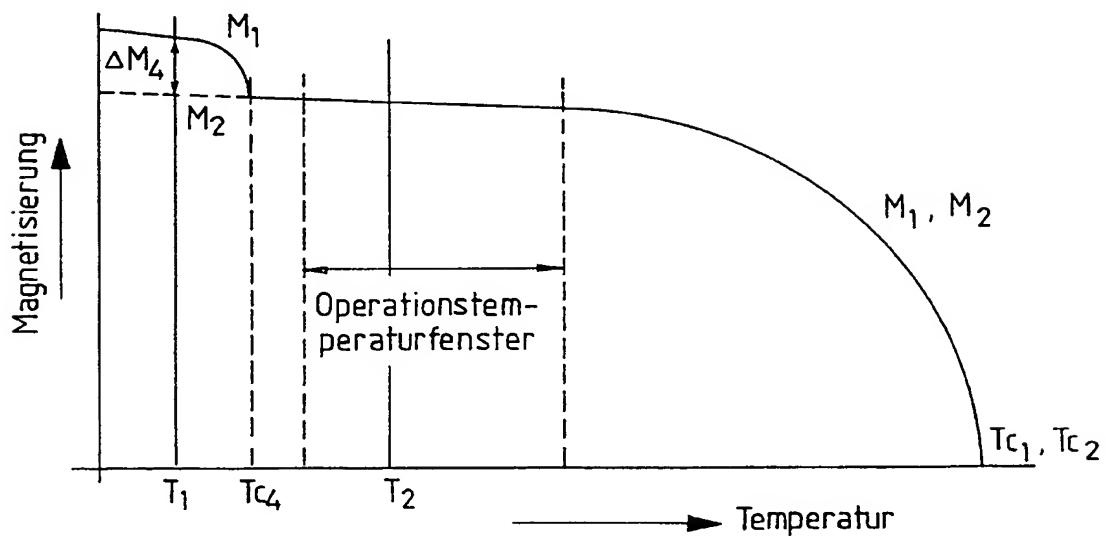


FIG. 11

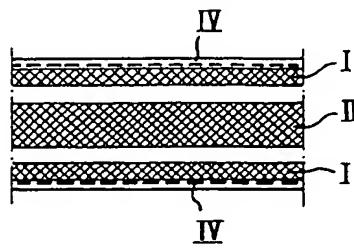


FIG. 12

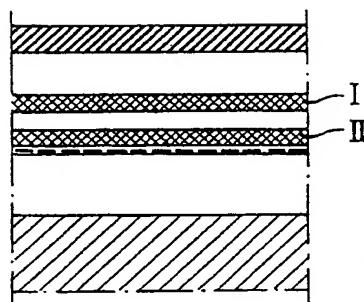


FIG. 13

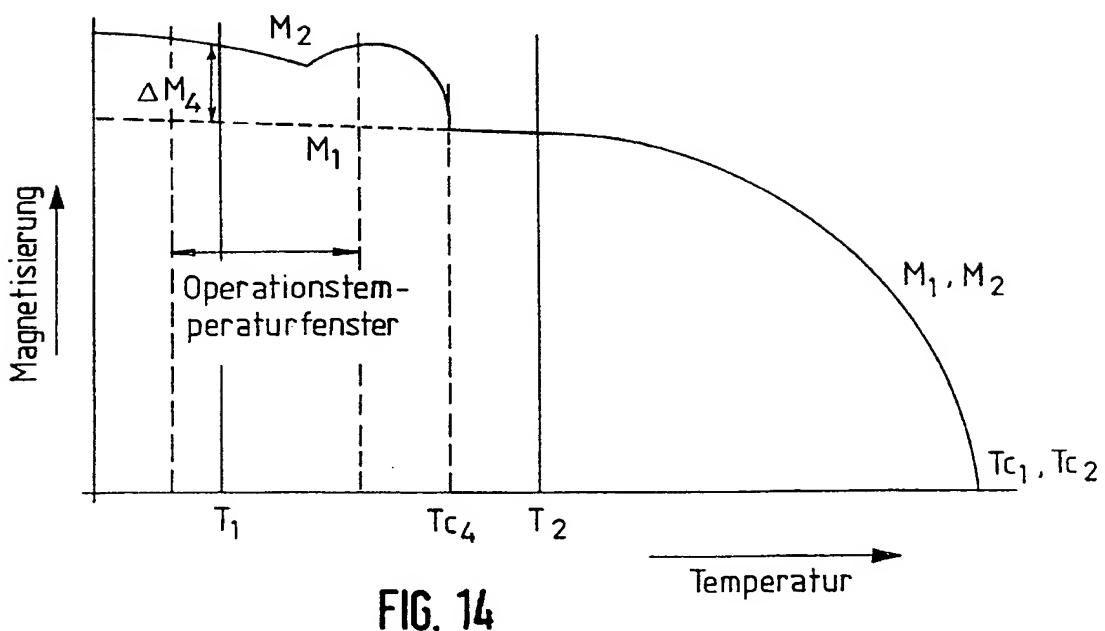


FIG. 14

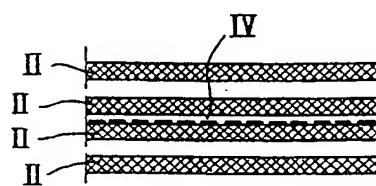


FIG. 15

7 / 7

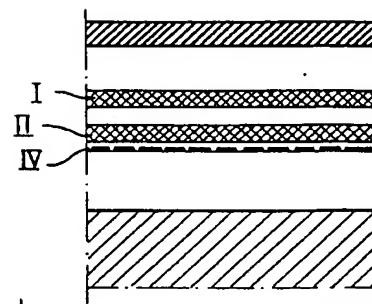


FIG. 16

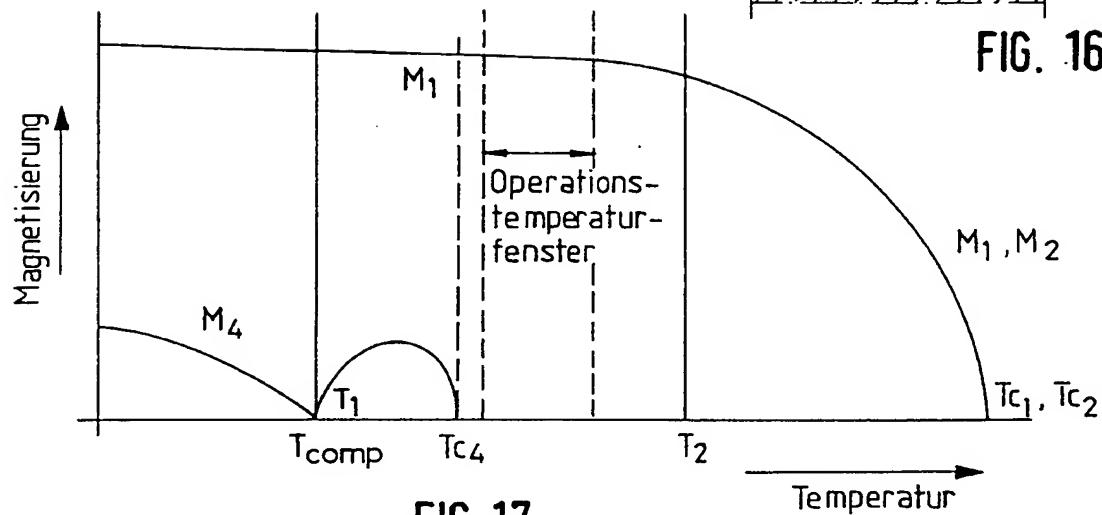


FIG. 17

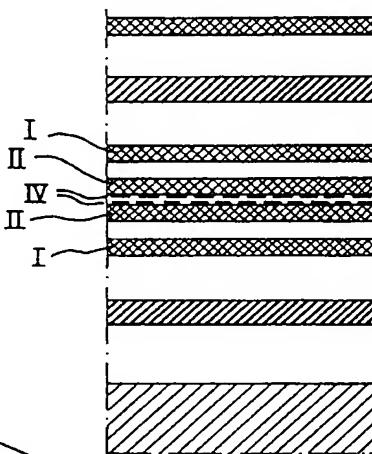


FIG. 18

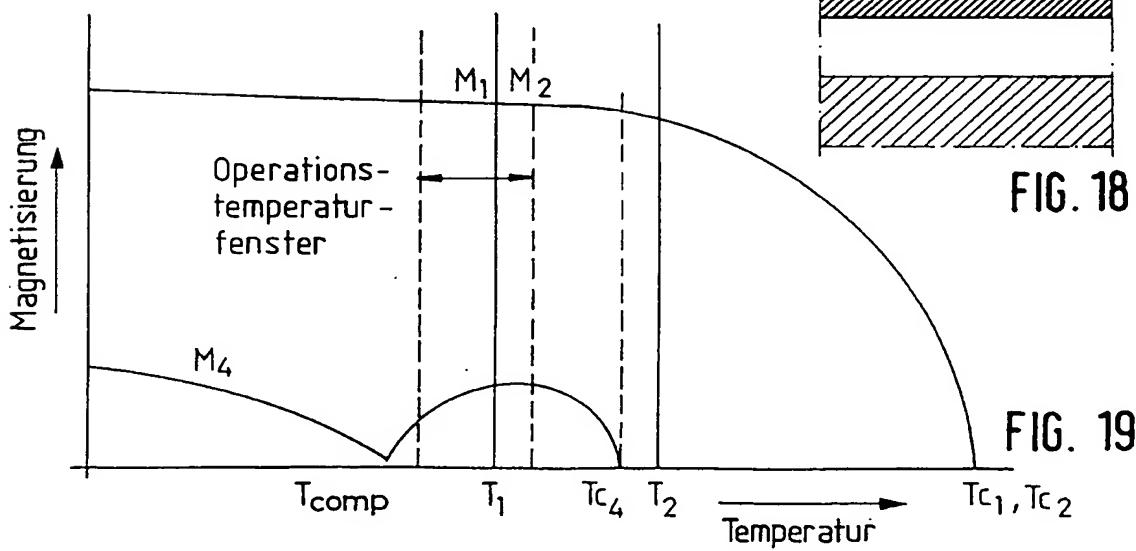


FIG. 19

... Page Blank (uspto)